

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 8 月 31 日現在

機関番号：10102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350225

研究課題名(和文)理科と数学の関連性を重視し「理数の力」の充実を目指す指導プログラムの開発と実践

研究課題名(英文) The Development and Effectiveness of a Teaching Program, Focusing on the Importance of Connections between Science and Mathematics Teaching

研究代表者

安藤 秀俊 (ANDOH, Hidetoshi)

北海道教育大学・教育学部・教授

研究者番号：70432820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：学習指導要領の改訂では、理数教育の充実が求められている。そこで本研究では、理科と数学の関連性を重視した授業プランを作成し、高校生の理科と数学に関する意識調査と授業実践からその教育的な効果を探った。本研究ではマラルディの角という理科と数学に共通する文脈を用いて、問題解決型の探究活動を行い、表面張力、水溶液の性質、メタン分子の構造などにふれ、また実際に実物のミツバチの巣を観察させ、自然界の中に存在する形や構造、あるいは数字という学習内容が、実は単なる偶然ではなく、科学的な根拠のもとに必然として存在することもあるという不思議や神秘性を体験させることができた。

研究成果の概要(英文)：The necessity for the cooperation of science and mathematics teaching was emphasized by the revision of the national curriculum in 2008. However, the lesson plan which made science and mathematics cooperate is hardly performed in the curriculum today. The purpose of this research is to propose a lesson which associates science and mathematics teaching and to verify its educational effectiveness in high school. The lesson plan for mathematics class was prepared for 66 high school students, in order to apply Maraldai's angle by inquiring into the area of the film stretched across the surface of a soap film, and inside a regular tetrahedron. These research results have suggested that the educational effect was obvious in the lesson in which the combination of science and mathematics teaching were practiced.

研究分野：科学教育

キーワード：理科 数学 理数教育

1. 研究開始当初の背景

理科と数学は互いに関わりを持ち、他の教科間よりも密接な関係にある教科である。数学で学習した考え方や手法を利用して、自然の事物・現象を整理・分析し変数の関係をとらえることは、理科の学習では頻繁に行われる。一方、数学の学習においても、図、表、グラフなどを適切に用いて問題を解決したり、自分の考えをまとめたり、理科の実験で用いられる帰納や演繹の考え方を数学の授業で利用することはよくあることである。しかし、これら2教科は互いに関わりが深いにも拘らず、わが国の学校教育のカリキュラムでは単独の教科として学び、それらを融合させたクロスカリキュラム的な授業はあまり行われていないのが一般的である。

これまで、理科と数学の関わりについては、森本・島田(科学教育研究, 1982), Lonning & DeFranco (School Science & Mathematics, 1997), Frykholm & Glasson (School Science & Mathematics, 2005) 等がカリキュラムについて、平賀・寺谷(科学教育研究, 2000), 田川・西山(理科教育学研究, 2008) が、実験の測定値の取り扱いやその統計的処理に関して報告している。しかし、これらはいずれも理科と数学の関連性について、各々の観点から考察したものや提案であり、理科と数学の関連性を考慮した授業の展開や実践例を示したものではない。

また、中央教育審議会の答申や学習指導要領では、「理数の力」の育成が目標に掲げられ、理科と数学の授業時数が増加されており、今まで以上に、理科と数学は密接に連携していく必要性が示されている(文部科学省, 2008)。そして、そのためには、理科と数学の関連性を重視した授業のあり方が求められている。そこで「理数の力」の充実を推進する方策として、生徒に理科と数学の関連性を認識させることを目的とし、理科と数学を連携させた教材を検討、その指導プログラムを開発し、授業実践によってその教育的効果を確認することが必要と考えた。

2. 研究の目的

(1) 学習指導要領で示された思考力や判断力などを育成するため、理科と数学の関連性を重視し、「理数の力」の充実を目指した教育の普及を図る。

(2) 理科と数学の2教科の関連性を実感できるような教材や実験方法を考案し、授業における指導プログラムを作成する。

(3) 作成した実験指導プログラムを使用して、中学校や高等学校で授業実践を行い、その教育的効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) 理科と数学の関連性を重視した実験の検討と開発

まず、文献調査や理科と数学の関連性を意識できるような教材の開発を中心に行う。こ

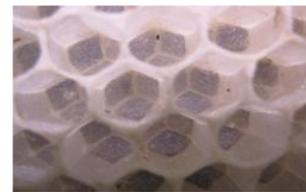
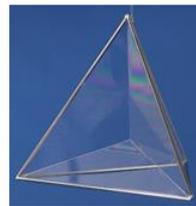
の際、研究協力者である学校現場の教員の協力を得て、中学校と高校の理科と数学の学習内容を総点検し、該当する単元や教育内容の洗い出しを行う。

①理科と数学の関連性を重視した学習可能な内容の検討

まず国内外の理科と数学に関する学術雑誌から、理科と数学の関連性についての文献調査を行うとともに、わが国の中学校理科教科書(5社)、数学教科書(4社)、高等学校理科教科書(6社)、高等学校数学教科書(5社)の内容を精査し、演繹、帰納、思考力など理科と数学に関連する場面の単元内容や実験を検討し、本研究の中心である教材の開発を行う。

②マラルディの角を用いた理数教材の開発

マラルディの角とは、天文学者であるマラルディ(1665-1729)がミツバチの巣を観察した際に、ミツバチの巣の巣底がひし形三枚でピラミッド状に構成されており、その頂角が109度28分であることを発見し名付けた角度である(高木, 2008)。本研究では、まずこのマラルディの角を教材化し、正三角錐の枠をシャボン液に入れると、なぜ外側ではなく内側に膜が張られるかを表面積の計算から考察させたり、実際のミツバチの巣の底面の観察をさせ、余弦定理から109度を計算させる。



正4面体に張る膜

ミツバチの巣底

また、マラルディの角は、この他にメタン分子の構造、A4用紙の対角、ホタテ貝の扇角度などにも現れるので、こうした身近な例を教材として開発する。さらに、発展として表面張力や構造強度の観点から、蜂の巣のハニカム構造を利用し理科と数学を関連させた教材を考案する。

(2) 授業の実践

理科と数学の関連性に関する授業実践を高等学校で行い、その教育的な効果について検証する。



4. 研究成果

本研究で考案したマラルディの角を題材とした教材を元に、高等学校で授業実践を行い、その教育的な効果について検証した。具体的

には、神奈川県内の公立高校2学年2学級の生徒66名を対象とし、2011年10月と11月に数学の授業内で実践を行った。授業の流れは以下の通りである。

① シャボン膜の性質である表面張力について学ぶ	1時間目
② 正四面体に張られるシャボン膜の表面積の計算、マラルディの角の算出を行う	
③ ホタテ貝、A4用紙など身近なマラルディの角を調べる	2時間目
④ 教材提示装置を用いてミツバチの巣底の観察を行う	
⑤ 画用紙や粘土を使いマラルディの角の模型を作る	3時間目
⑥ まとめ	

また、理科と数学に関する興味・関心・意欲などの学習意識(問1~4, 11~14, 24)、理科と数学の共通の文脈であるマラルディの角に関する学習内容(問5~10, 19)、探究的な学習活動に関わる意識(問17, 18)、自然界の法則についての意識(問15, 16, 20~23)の合計24の質問項目を用意し、授業の前に「1:全く当てはまらない」、「2:あまり当てはまらない」、「3:どちらでもない」、「4:少し当てはまる」、「5:とても当てはまる」の5択から選択させた。

事前調査と事後調査で同じ内容の17項目について、肯定的回答と否定的回答で直接確率計算を行った結果と、事前と事後でWilcoxonの符号付順位検定を行った結果を表にまとめた。問1, 2で理科と数学の好嫌度について直接確率計算を行ったところ、理科(問1)では、事前・事後とも好きな生徒と嫌いな生徒がほぼ同数であった。一方、数学(問2)では、事前で嫌いな生徒が5%水準で有意に多かったが、事後では数学が好きであると回答した生徒が増加した。

問	時期	肯定的			否定的		肯定的・否定的の差	p値	事前・事後の差	p値
		とても当てはまる	少し当てはまる	どちらでもない	あまり当てはまらない	全く当てはまらない				
1	事前	9(13.6%)	17(25.8%)	16(24.2%)	15(22.7%)	9(13.6%)	0.888	n.s.	0.137	n.s.
	事後	12(18.2%)	19(28.8%)	16(24.2%)	12(18.2%)	7(10.6%)	0.119	n.s.		
2	事前	2(3.0%)	13(19.7%)	22(33.3%)	16(24.2%)	13(19.7%)	0.049	*	0.336	n.s.
	事後	5(7.6%)	15(22.7%)	18(27.3%)	18(27.3%)	10(15.2%)	0.312	n.s.		
3	事前	13(19.7%)	32(48.5%)	14(21.2%)	4(6.1%)	3(4.5%)	0.000	**	0.235	n.s.
	事後	16(24.2%)	33(50.0%)	13(19.7%)	1(1.5%)	3(4.5%)	0.000	**		
4	事前	5(7.6%)	15(22.7%)	24(36.4%)	18(27.3%)	4(6.1%)	0.878	n.s.	0.001	**
	事後	11(16.7%)	24(36.4%)	24(36.4%)	4(6.1%)	3(4.5%)	0.000	**		
5	事前	6(9.1%)	17(25.8%)	14(21.2%)	11(16.7%)	18(27.3%)	0.489	n.s.	0.000	**
	事後	17(25.8%)	38(57.6%)	7(10.6%)	1(1.5%)	3(4.5%)	0.000	**		
6	事前	1(1.5%)	4(6.1%)	2(3.0%)	13(19.7%)	46(69.7%)	0.000	**	0.000	**
	事後	4(6.1%)	17(25.8%)	29(43.9%)	7(10.6%)	9(13.6%)	0.511	n.s.		
8	事前	1(1.5%)	5(7.6%)	3(4.5%)	20(30.3%)	37(56.1%)	0.000	**	0.000	**
	事後	19(28.8%)	32(48.5%)	10(15.2%)	3(4.5%)	2(3.0%)	0.000	**		
11	事前	14(21.2%)	23(34.8%)	14(21.2%)	9(13.6%)	6(9.1%)	0.003	**	0.217	n.s.
	事後	7(10.6%)	38(57.6%)	15(22.7%)	4(6.1%)	2(3.0%)	0.000	**		
12	事前	1(1.5%)	9(13.6%)	27(40.9%)	19(28.8%)	10(15.2%)	0.003	**	0.000	**
	事後	5(7.6%)	30(45.5%)	22(33.3%)	7(10.6%)	2(3.0%)	0.000	**		
13	事前	5(7.6%)	17(25.8%)	30(45.5%)	9(13.6%)	5(7.6%)	0.243	n.s.	0.201	n.s.
	事後	5(7.6%)	24(36.4%)	28(42.4%)	6(9.1%)	3(4.5%)	0.002	**		
14	事前	6(9.1%)	17(25.8%)	29(43.9%)	10(15.2%)	4(6.1%)	0.188	n.s.	0.335	n.s.
	事後	5(7.6%)	23(34.8%)	29(43.9%)	5(7.6%)	4(6.1%)	0.003	**		
17	事前	2(3.0%)	7(10.6%)	7(10.6%)	12(18.2%)	38(57.6%)	0.000	**	0.000	**
	事後	15(22.7%)	39(59.1%)	7(10.6%)	2(3.0%)	3(4.5%)	0.000	**		
18	事前	1(1.5%)	1(1.5%)	7(10.6%)	12(18.2%)	45(68.2%)	0.000	**	0.000	**
	事後	20(30.3%)	33(50.0%)	11(16.7%)	0(0.0%)	2(3.0%)	0.000	**		
20	事前	11(16.7%)	27(40.9%)	14(21.2%)	5(7.6%)	9(13.6%)	0.001	**	0.039	*
	事後	12(18.2%)	34(51.5%)	16(24.2%)	1(1.5%)	3(4.5%)	0.000	**		
21	事前	19(28.8%)	22(33.3%)	15(22.7%)	4(6.1%)	6(9.1%)	0.000	**	0.591	n.s.
	事後	10(15.2%)	32(48.5%)	15(22.7%)	7(10.6%)	2(3.0%)	0.000	**		
22	事前	2(3.0%)	4(6.1%)	24(36.4%)	15(22.7%)	21(31.8%)	0.000	**	0.000	**
	事後	3(4.5%)	19(28.8%)	27(40.9%)	10(15.2%)	7(10.6%)	0.522	n.s.		
24	事前	10(15.2%)	28(42.4%)	21(31.8%)	4(6.1%)	3(4.5%)	0.000	**	0.050	*
	事後	13(19.7%)	35(53.0%)	14(21.2%)	2(3.0%)	2(3.0%)	0.000	**		

単位:人、N=66 ** : 1%水準で有意差あり、* : 5%水準で有意差あり、n.s. : 有意差なし

自由記述においても「理科、数学が前よりも好きになった。」「理科と数学に関して興味がわいた。これから勉強を頑張りたい」などの記述があり、本実践は理科と数学の学習を

好意的にとらえるきっかけになったと思われる。また、問3, 4で理科と数学の必要性について直接確率計算を行ったところ、問3で理科に数学は必要であるという回答は、実践の前後とも1%水準で有意に肯定的であったが、問4で数学には理科が必要であると考えた生徒は肯定的な人数と否定的な人数がほぼ同数であった。しかし、実践後は理科に数学は必要であり、数学にも理科が必要であると考えた生徒が1%水準で有意に増加した。これは今回の理科と数学を連携させた授業が、生徒に理科と数学の相互の関わりと必要性を意識させることができた結果であると推察される。

このような意識の改善が見られたことは、本実践が理科と数学を連携させた授業として、一定の教育的効果がみられたことを意味している。問5, 6, 8の授業内容に関わる問においては、Wilcoxonの符号付順位検定を行ったところ、それぞれ1%水準で有意差が認められたことから、実践前後で学習内容が定着したことがわかる。問11「理科を勉強することで、自然界のことがわかるようになる」、問12「数学を勉強することで、自然界のことがわかるようになる」の自然界と理科、数学の関係についての質問において、直接確率計算を行った結果、問12の事前に1%水準で否定的に、事後に1%水準で肯定的に有意差が認められた。このことは、もともと多くの生徒が理科は自然界との関わりが強いと考えていたものが、今回の実践を通して、それが理科だけではなく、数学にも通じることであると生徒が理解したためと考えられる。この結果は問4と同様に数学の授業の中で理科の教材を用いたことによる効果と考えられる。

問13, 14で肯定的回答と否定的回答のどちらに偏っているか直接確率計算を行った結果、事前においてはいずれの問も有意差は無かったが、事後では肯定的に1%水準で有意差が認められた。これらの間で事後において肯定的回答が有意に増加したことは、本実践が理科や数学を学ぶ意義や社会での有用性を生徒に理解させるのに有効であったと言える。問17, 18は、授業内容に関することであり、事後では肯定的回答が大幅に増加し、事前と事後の差においても1%水準で有意差が認められるなど学習内容の定着も見られた。

問20~22は、自然界の法則について意識を問うものであるが、問22では事後において肯定的な回答が増加するなど、概ね本実践を好意的に捉えている傾向が見られた。

問24「理科と数学は互いに関わりがある教科である」でWilcoxonの符号付き順位検定を行った結果、5%水準で有意差が認められ、授業実践前においても理科と数学の関わりを意識している生徒が多いことがわかる。そしてその考えは事後においてより肯定的に偏りをみせた。

今回の実践が理科の実験を行いながら、数

学を学習するなど、理科と数学の関わり合いを生徒がより実感的に理解した事からこのような結果が得られたと考えられる。これらの間を通して生徒が理科と数学の連携の重要性を実感的に理解したこと、そこから両教科の学習意欲の向上に繋がるのではないかと考える。特に問 4, 12, 24 において有意差が認められたことは、本実践の教育的な有効性を裏付けるものと言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ①安藤秀俊, 中村孝之, 小原美枝, マラルディの角を題材とした理科と数学の関連性を重視した指導事例の有効性, 科学教育研究, 日本科学教育学会, 査読有, 38(2), 2014, 148-156
- ②安藤秀俊, 松尾広樹, 小原美枝, 科学史による数学と理科の関連性を重視した指導事例の開発—正弦定理を利用したケプラーの地球軌道の発見過程を例に—, 科学教育研究, 日本科学教育学会, 査読有, 37(2), 2013, 171-183

[学会発表] (計 7 件)

- ①山田貴人, 安藤秀俊, 単位カードの活動を取り入れた授業の教育的効果について, 平成 27 年度北海道教育大学旭川実践教育学会研究大会, (北海道教育大学旭川校), 2015 年 11 月 28 日, 北海道・旭川市
- ②山田貴人, 安藤秀俊, 単位同士の演算を習得させる教材の開発 ～対戦型カードバトルを基に～, 平成 27 年度第 1 回日本科学教育学会研究会 (日本科学教育学会北海道支部大会) (北海道教育大学旭川校), 2015 年 11 月 14 日, 北海道・旭川市
- ③山田貴人, 安藤秀俊, 単位の組み立てを意識させる教材の開発 ～対戦型カードバトルを基に～, 日本理科教育学会北海道支部大会 (北海道教育大学旭川校) 2015 年 10 月 3 日, 北海道・旭川市
- ④安藤秀俊, 理科と数学の関連性, 日本科学教育学会第 39 回全国大会 (山形大学), 2015 年 8 月 22 日, 山形県・山形市
- ⑤山田貴人, 安藤秀俊, 単位の活用における日常知と学校知の混在, 日本理科教育学会北海道支部大会 (北海道教育大学函館校), 2014 年 9 月 28 日, 北海道・函館市
- ⑥安藤秀俊, 中村孝之, 小原美枝, 生物に見られる数学の規則性について, 日本生物教育学会第 96 回全国大会 (筑波大学), 2014 年 1 月 12 日, 茨城県・つくば市
- ⑦小原美枝, 中村孝之, 安藤秀俊, 数学と理科の連携を考慮したフィボナッチ数列に関する教材開発, 日本科学教育学会, 第 37 回全国大会 (三重大学), 2013 年 9 月 7 日, 三重県・津市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安藤秀俊 (ANDOH, Hidetoshi)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 70432820